

(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局



02 DEC 2004



(43) 国際公開日
2003 年 12 月 11 日 (11.12.2003)

PCT

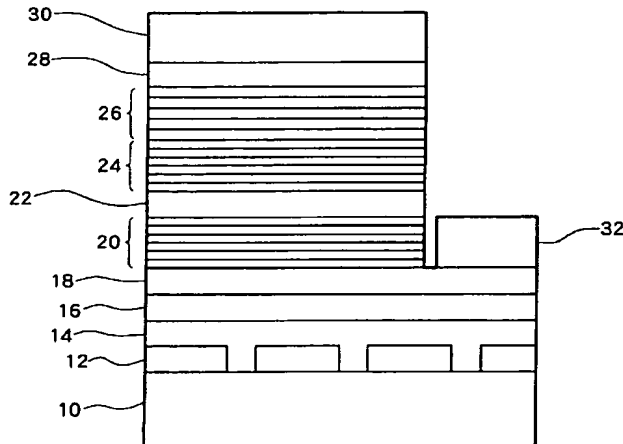
(10) 国際公開番号
WO 03/103062 A1

(51) 国際特許分類⁷: H01L 33/00 SEMICONDUCTORS CO.,LTD.) [JP/JP]; 〒771-0360 徳島県 鳴門市瀬戸町明神字板屋島 1 1 5 番地の 7
(21) 国際出願番号: PCT/JP03/07061 Tokushima (JP).
(22) 国際出願日: 2003 年 6 月 4 日 (04.06.2003) (72) 発明者; および
(25) 国際出願の言語: 日本語 (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 佐藤 壽朗
(26) 国際公開の言語: 日本語 (SATO,Hisao) [JP/JP]; 〒771-0360 徳島県 鳴門市瀬戸町明神字板屋島 1 1 5 番地の 7 ナイトライド・セミコンダクター株式会社内 Tokushima (JP). 菅原
(30) 優先権データ: 特願2002-162646 2002 年 6 月 4 日 (04.06.2002) JP 智也 (SUGAHARA,Tomoya) [JP/JP]; 〒352-0001 埼玉県 新座市東北 1 丁目 9 番地 8 号 ディマンシュ
(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): ナイトライド・セミコンダクター株式会社 (NITRIDE) 2 0 3 号 Saitama (JP). 北澤 慎二 (KITAZAWA,Shinji) [JP/JP]; 〒771-0360 徳島県 鳴門市瀬戸町明神字板屋島 1 1 5 番地の 7 ナイトライド・セミコンダクター株式会社内 Tokushima (JP). 村本 宜彦

[続葉有]

(54) Title: GALLIUM NITRIDE COMPOUND SEMICONDUCTOR DEVICE AND MANUFACTURING METHOD

(54) 発明の名称: 窒化ガリウム系化合物半導体装置及び製造方法



(57) Abstract: A light-emitting element using GaN. On a substrate (10), formed are an SiN buffer layer (12), a GaN buffer layer (14), an undoped GaN layer (16), an Si-doped n-GaN layer (18), an SLS layer (20), an undoped GaN layer (22), an MQW light-emitting layer (24), an SLS layer (26), and a p-GaN layer (28), forming a p electrode (30) and an n electrode (32). The MQW light-emitting layer (24) has a structure in which InGaN well layers and AlGaN barrier layers are alternated. The Al content ratios of the SLS layers (20, and 26) are more than 5% and less than 24%. The In content ratio of the well layer in the MQW light-emitting layer (24) is more than 3% and less than 20%. The Al content ratio of the barrier layer is more than 1% and less than 30%. By adjusting the content ratio and film thickness of each layer to a desired value, the light luminous efficiency for wavelength of less than 400 nm is improved.

(57) 要約: GaNを用いた発光素子。基板(10)上に順次SiNバッファ層(12)、GaNバッファ層(14)、アンドープGaN層(16)、Siドープn-GaN層(18)、SLS層(20)、アンドープGaN層(22)、MQW発光層(24)

[続葉有]

WO 03/103062 A1



(MURAMOTO, Yoshihiko) [JP/JP]; 〒771-0360 徳島県鳴門市瀬戸町明神字板屋島 115 番地の7 ナイトライド・セミコンダクター株式会社内 Tokushima (JP). 酒井 士郎 (SAKAI, Shiro) [JP/JP]; 〒770-8072 徳島県 徳島市八万町中津浦 174-4 Tokushima (JP).

(74) 代理人: 吉田 研二, 外 (YOSHIDA, Kenji et al.); 〒180-0004 東京都 武蔵野市吉祥寺本町 1 丁目 3 4 番 1 2 号 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (国内): CN, JP, KR, US.

(84) 指定国 (広域): ヨーロッパ特許 (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

2 文字コード及び他の略語については、定期発行される各 PCT ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

)、SLS 層 (26)、p-GaN 層 (28) を積層し、p 電極 (30) 及び n 電極 (32) を形成する。MQW 発光層 (24) として、InGa_N 井戸層と AlGa_N バリア層を交互に積層した構造が用いられる。SLS (20)、(26) における Al 組成比は 5% 以上 25% 以下、MQW 発光層 (24) における井戸層の In 組成比は 3% 以上 20% 以下、バリア層の Al 組成比は 1% 以上 30% 以下に設定される。各層の組成比及び膜厚を所望の値に調整することで、波長 400 nm 以下の発光効率を向上させる。

明 細 書

窒化ガリウム系化合物半導体装置及び製造方法

技術分野

本発明は窒化ガリウム（GaN）系化合物半導体装置及びその製造方法に関し、特に発光効率の改善に関する。

背景技術

窒化物半導体を用いた波長370～550nm帯の発光素子が実用化されている。これらの発光素子では、主に $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ （ $0 < x < 1$ ）を発光材料として使用している。 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ におけるIn組成比 x を変化させることで発光波長が変化し、具体的には x が大きくなるほど発光波長も長くなる。また、In組成比 x を変化させると発光波長とともに発光効率も変化する。具体的には、In組成比 x があまりに大きくなると、

- (1) InGa_Nを挟む層であるGaNやAlGa_Nとの格子定数差が大きくなる
- (2) 高いIn組成を持つInGa_Nを結晶成長するために結晶成長温度を低くする必要がある

等の理由によりInGa_Nの結晶品質が劣化し、波長が530nmより長くなると発光効率が低下してしまう。波長400～530nmの範囲では一般に発光効率は高くなるが、波長が400nm以下になると再び発光効率が低下する。

波長400nm以下の短波長側で発光効率が低下するのは、結晶中に存在する転位に起因すると考えられる。適当なIn組成比を有する波長400～530nmの発光素子（LED等）の効率が転位密度によらず高いのは、InGa_N層中のIn組成の揺らぎによるものである。すなわち、Inの組成揺らぎが存在すると、In組成が部分的に大きい部位で発光するので注入されたキャリアはその部位で捕獲され、転位に到達できずに効率が低下しない。発光波長を短くするためには上述したようにIn組成比 x を小さくする必要があり、必然的にIn組成揺

らぎも小さくなる。組成揺らぎが小さいとキャリアの捕獲が十分に行われず、キャリアは転位に到達してしまい発光効率が低下することになる。

このように、発光波長が400nm以下では、発光効率は転位密度に大きく依存し、転位の存在により発光効率が低下してしまう。

波長400nm以下における発光効率の低下を防止するためには転位密度を抑制することが必要である。従来においては、例えばELO (Epitaxial Lateral Overgrowth) 法や溝を形成したサファイア基板等の上に発光層を成長させる方法を用いて転位密度を低減しており、これらの手法ではフォトリソグラフィなどの手法を伴うため手間が掛かり、結果として発光素子としてのコストが増大してしまう問題があった。

発明の開示

本発明の目的は、フォトリソグラフィ等の特殊な手法を用いることなく、短波長（特に波長400nm以下）における発光効率に優れた装置を得ることにある。

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置は、基板と、前記基板上に形成されたn型AlGaIn層とn型GaN層を交互に積層してなる第1超格子層と、前記第1超格子層上に形成された、GaN系量子井戸層とGaN系量子バリア層を交互に積層してなる多重量子井戸層と、前記多重量子井戸層上に形成された、p型AlGaIn層とp型GaN層を交互に積層してなる第2超格子層とを有する。

本発明において、前記基板と前記第1超格子装置との間にバッファ層、第1GaN系層、及びn型GaN系層を有し、前記第1超格子層上に第2GaN系層を有し、前記第2超格子層上にp型GaN系層を有してもよい。

本発明において、多重量子井戸層内のGaN系量子バリア層のAl組成比は第1超格子層及び第2超格子層のAl組成比より大きくしてもよい。

本発明において、前記第1超格子層及び第2超格子層におけるAlGaIn層のAl組成比は5%以上25%以下であり、前記多重量子井戸層におけるInGaInあるいはAlInGaIn量子井戸層のIn組成比は3%以上20%以下で、AlGaInあるいはAlInGaIn量子バリア層のAl組成比は1%以上30%以下であり、前記量子井戸層は前記量子バリア層よりもそのバンドギャップを小さ

くしてもよい。

本発明において、前記第1超格子層におけるAlGa_xN層及びGa_{1-x}N層の厚さはそれぞれ1nm以上10nm以下であり、前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1nm以上5nm以下で量子バリア層の厚さは2nm以上50nm以下であり、前記第2超格子層におけるAlGa_xN層の厚さは0.5nm以上10nm以下でGa_{1-x}N層の厚さは0.5nm以上5nm以下としてもよい。

本発明において、前記第1Ga_{1-x}N系層の厚さは500nm以上3000nm以下であり、前記n型Ga_{1-x}N系層の厚さは500nm以上10000nm以下であり、前記第1超格子層におけるAlGa_xN層及びGa_{1-x}N層の厚さはそれぞれ1nm以上10nm以下であり、前記第2Ga_{1-x}N系層の厚さは5nm以上100nm以下であり、前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1nm以上5nm以下で量子バリア層の厚さは2nm以上50nm以下であり、前記第2超格子層におけるAlGa_xN層の厚さは0.5nm以上10nm以下でGa_{1-x}N層の厚さは0.5nm以上5nm以下であり、前記p型Ga_{1-x}N系層の厚さは5nm以上50nm以下としてもよい。

本発明において、前記第1超格子層におけるAlGa_xN層及びGa_{1-x}N層の厚さはそれぞれ1.5nm以上5nm以下であり、前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1nm以上2nm以下で量子バリア層の厚さは6nm以上20nm以下であり、前記第2超格子層におけるAlGa_xN層の厚さは1nm以上6nm以下でGa_{1-x}N層の厚さは0.5nm以上3nm以下としてもよい。

本発明において、前記第1Ga_{1-x}N系層の厚さは1500nm以上3000nm以下であり、前記n型Ga_{1-x}N系層の厚さは1000nm以上2000nm以下であり、前記第1超格子層におけるAlGa_xN層及びGa_{1-x}N層の厚さはそれぞれ1.5nm以上5nm以下であり、前記第2Ga_{1-x}N系層の厚さは20nm以上40nm以下であり、前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1nm以上2nm以下で量子バリア層の厚さは6nm以上20nm以下であり、前記第2超格子層におけるAlGa_xN層の厚さは1nm以上6nm以下でGa_{1-x}N層の厚さは0.5nm以上3nm以下であり、前記p型Ga_{1-x}N系層の厚さは10nm以上40nm以下としてもよい。

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置は、MOCVD法で製造することができる。この製造方法は、前記基板上に前記バッファ層を450℃以上600℃以下の温度で形成し、前記バッファ層上に前記第1 GaN系層、前記n型GaN系層、前記第1超格子層を順次1050℃以上1100℃以下の温度で形成し、前記第1超格子層上に前記第2 GaN系層、前記多重量子井戸層を順次800℃以上900℃以下の温度で形成し、前記多重量子井戸層上に前記第2超格子層、前記p型GaN系層を順次950℃以上1025℃以下の温度で形成する、各ステップを含む。

また、本発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置は、基板と、前記基板上に形成されたn型AlGaN層と、前記n型AlGaN層上に形成された、GaN系量子井戸層とGaN系量子バリア層を交互に積層してなる多重量子井戸層と、前記多重量子井戸層上に形成されたp型AlGaN層とを有する。

本発明において、多重量子井戸層内のGaN系量子バリア層のAl組成比は前記n型AlGaN層と前記p型AlGaN層のAl組成比より大きくしてもよい。

本発明において、前記基板と前記n型AlGaN層との間にバッファ、第1 GaN系層、及びn型GaN系層を有し、前記n型AlGaN層と前記多重量子井戸層の間に第2 GaN系層を有し、前記p型AlGaN層上にp型GaN系層を有してもよい。

本発明において、前記n型AlGaN層及びp型AlGaN層のAl組成比は5%以上25%以下であり、前記多重量子井戸層におけるInGaNあるいはAlInGaN量子井戸層のIn組成比は3%以上20%以下で、AlInGaNあるいはAlGaN量子バリア層のAl組成比は1%以上30%以下であり、前記量子井戸層は前記量子バリア層よりもそのバンドギャップを小さくしてもよい。

本発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置も、MOCVD法により製造することができる。この製造方法は、前記基板上に前記バッファ層を450℃以上600℃以下の温度で形成し、前記バッファ層上に前記第1 GaN系層、前記n型GaN系層、前記n型AlGaN層を順次1050℃以上1100℃以下の温度で形成し、前記n型AlGaN層上に前記第2 GaN系層、前記多重量子井戸層を順次800℃以上900℃以下の温度で形成し、前記多重量子井戸層上に前記p

型AlGaIn層、前記p型GaIn系層を順次950℃以上1025℃以下の温度で形成する、各ステップを含む。

本発明の装置において、さらに、前記n型GaIn系層に接続されたn電極と、前記p型GaIn系層に接続されたp電極と、前記n電極とp電極間に電圧を印加する電源とを有することもできる。また、このような装置を光源に用い、波長400nm以下の光を照射する装置を得ることもできる。本発明の窒化ガリウム系化合物半導体装置を光源に組み込んだ装置は、短波長（波長400nm以下）における発光効率に優れるため、短波長の光源を必要とする用途に適する。

図面の簡単な説明

図1は、窒化ガリウム系化合物半導体装置の構成図である。

図2は、発光素子の断面電子顕微鏡写真を示す図である。

図3は、発光素子の他の断面電子顕微鏡写真を示す図である。

発明を実施するための最良の形態

以下、図面に基づき本発明の実施形態について説明する。

<第1実施形態>

図1には、本実施形態に係るGaIn系化合物半導体装置として発光素子(LED)の構成が示されている。発光素子は基板上に複数の層をMOCVD法（金属有機化学気相成長法）を用いて成長させることで作製される。具体的には、以下のように製造される。なお、MOCVD装置自体は公知であるが、その装置構成について概説すると、反応管内にサセプタ及びガス導入管を設ける。サセプタに基板を載置し、ヒータで基板を加熱しながら原料ガスを供給して基板上で反応させる。ガス導入部は例えば反応管の2方に設け、一つは基板の側方からトリメチルガリウムやシランガスなどの原料ガスを導入し、他方は基板の上部から通気性を有する微多孔質部材を介して水素と窒素の混合ガス等を供給する。

まず、サファイアc面基板10を用意し、常圧MOCVD装置のサセプタにセットして基板温度1100℃にて水素雰囲気中で10分間熱処理する。その後、基板10の温度を500℃まで下げ、モノメチルシランガスとアンモニアガスを

100秒間流すことで基板10上に不連続的にSiNバッファ膜12を形成する。なお、この不連続SiN膜12は層中の転位を確実に低減するためのものであるが、本実施形態においては省略することも可能である。次に、温度を500℃に維持しつつトリメチルガリウム及びアンモニアガスを流してGaNバッファ層14を25nm形成する。このGaNバッファ層14は、いわゆる低温バッファ層として機能するものである。次に、温度を1075℃まで昇温して、再びトリメチルガリウム及びアンモニアガスを流してアンドープGaN層16を2μm形成する。さらに、トリメチルガリウム及びアンモニアガスにモノメチルシランガスを加えて、Siドープn-GaN層18を1μm形成する。モノメチルシランガスはGaNにSiをドープしてn型にするためであり、Siドープn-GaN層18内のキャリア密度はおよそ $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

次に、基板10の温度を1075℃のまま維持してSiドープn-Al_{0.1}Ga_{0.9}N(2nm)/Siドープn-GaN(2nm)を交互に50ペア形成してSLS(Strained Layer Superlattice: 歪超格子)層20を形成する。AlGaNを形成するには、トリメチルガリウム及びアンモニアガスに加えてトリメチルアルミニウムを供給すればよい(Siをドープするため、実際にはさらにモノメチルシランガスを供給する)。SLS層20内の平均キャリア密度は $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

その後、基板温度を830℃まで下げてアンドープGaN層22を30nm形成する。さらに、アンドープIn_{0.05}Ga_{0.95}N(1.5nm)/アンドープAl_{0.1}In_{0.02}Ga_{0.88}N(9.5nm)を交互に7ペア積層してMQW(多重量子井戸)発光層24を形成する。InGaNはトリメチルガリウム、トリメチルインジウム及びアンモニアガスを供給して形成され、AlInGaNはさらにトリメチルアルミニウムを供給して形成される。MQW発光層24は、井戸(ウェル)層とバリア層を交互に積層してなり、アンドープInGaNが井戸層として機能し、アンドープAlInGaNがバリア層として機能する。井戸層のバンドギャップはバリア層よりも小さく設定される。本実施形態では、井戸層はInGaN層であるが、AlInGaNで井戸層を構成することもできる。井戸層及びバリア層ともにAlInGaNで構成する場合、Al組成を調整して井戸層の

バンドギャップをバリア層よりも小さくする。井戸層のAl組成比としては、0%~20%が好適である。図1におけるInGa_{1-x}N井戸層は、Al組成比が0%の場合を示したものである。バリア層のAl組成比としては、1%~30%が好適である。

MQW発光層24形成後、基板10の温度を975℃まで上昇させてMgドープp-AlGa_{1-x}N(1.5nm)/Mgドープp-GaN(0.8nm)を交互に50ペア形成してp-SLS層26を形成し、さらに、p-GaN層28を15nmだけ形成する。p-SLS層26及びp-GaN層28内のキャリア濃度はそれぞれ $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である。

なお、発光層24を挟むように形成されるSLS層20及びSLS層26は、キャリアを閉じ込めるクラッド層として機能する。

以上のようにしてLEDウエハを作製した後、LEDウエハをMOCVD装置から取り出し、Ni(10nm)、Au(10nm)を順次、真空蒸着して表面に積層し、5%の酸素を含む窒素ガス雰囲気中520℃で熱処理して金属膜をp透明電極30とする。p電極30を形成した後、表面にフォトリソを塗布し、エッチングマスクとして用いてn-GaN層18を露出するようにエッチングし、露出したn-GaN層18上にTi(5nm)、Al(5nm)を蒸着して窒素ガス中450℃で30分間熱処理してn電極32を形成する。

図1において、SLS層20が第1超格子層に対応し、MQW発光層24が多重量子井戸層に対応し、SLS層26が第2超格子装置に対応する。また、アンドープGaN層16が第1GaN系層に対応し、Siドープのn-GaN層18がn型GaN系層に対応し、アンドープGaN層22が第2GaN系層に対応し、p-GaN層28がp型GaN系層に対応する。

また、図には示していないが、p電極30及びn電極32の一部にワイヤボンディング用の厚さ500nmのAuパッドを形成し、基板10の裏面を100μmまで研磨してスクラブによりチップを切り出し、マウントして発光素子デバイス(LEDデバイス)が作製される。

表1に、図1に示された各層の材料と組成の範囲及びキャリア濃度の範囲を示す。

表 1

層材料	組成の範囲	キャリア濃度の範囲($1/\text{cm}^3$)
p-GaN		$1\text{--}50\text{E}17$
Mg ドープ p-AlGaN/ Mg ドープ p-GaN SLS	Al=5-25%	$1\text{--}30\text{E}17$
AlInGaN/AlInGaN MQW	AlInGaN(well) (In=3-20%, Al=0-20%)、 AlInGaN (Barrier) (Al=1-20%, In=0-10%)ただし、well層のバンド ギャップは、Barrier層のバンドギャ ップよりも小さくなるように組成を選ぶ。	アンドープ
アンドープ GaN		アンドープ
Si ドープ n-AlGaN/ Si ドープ n-GaN SLS	Al=5-25%	$1\text{--}8\text{E}18$
Si ドープ n-GaN		$1\text{--}8\text{E}18$
アンドープ GaN		アンドープ
バッファ層		アンドープ
SiNバッファ(無くても構わない)		
サファイアC面基板		

表1において、MQW発光層24はAlInGaN/AlInGaN MQW層としているが、前者が井戸層を示し後者がバリア層を示す。表1において着目すべきは、SLS層20、26におけるAl組成比は5%以上25%以下、MQW発光層24における井戸層のAl組成比は0%以上20%以下、In組成比は3%以上20%以下、バリア層のAl組成比は1%以上20%以下、In組成比は0%以上10%以下となることである。MQW発光層24におけるバリア層のAl組成比は1%以上30%以下としてもよい。バリア層のAl組成とSLS層20及びSLS層26のAl組成との関係については、バリア層のAl組成比がSLS層20、26のAl組成比よりも大となるのが好適である。キャリアである電子と正孔はMQW発光層24の井戸層において再結合して発光する。バリア層のAl組成比を増大させるとバンドギャップが増大し、キャリアを効率的にMQW発光層24の井戸層に閉じ込めて発光効率を向上させることができる。バリア層のAl組成比が増大すると、MQW発光層24の井戸層の実効的バンドギャップも増大する。

井戸層のAl組成比が0%を含み、バリア層のIn組成比が0%を含んでいるため、MQW発光層24の材料としては、以下の4種類の組み合わせが存在する。

- (a) InGa_N井戸層／AlGa_Nバリア層
- (b) InGa_N井戸層／AlInGa_Nバリア層
- (c) AlInGa_N井戸層／AlGa_Nバリア層
- (d) AlInGa_N井戸層／AlInGa_Nバリア層

いずれの組み合わせにおいても、井戸層のバンドギャップはバリア層のバンドギャップよりも小さくなるように組成が選択される。図1は(b)の場合である。

また、表2には各層の好ましい膜厚を示す。

表2

層材料	好ましい膜厚
p+Ga _N	5-50nm
Mg ドープ p-AlGa _N ／ Mg ドープ p-Ga _N SLS	AlGa _N (0.5-10nm)／Ga _N (0.5-5nm)(20-100ペア)
AlInGa _N ／AlInGa _N MQW	AlInGa _N (well) (1-5nm)／AlInGa _N (Barrier) (2-50nm)
アンドープ Ga _N	5-100nm
Si ドープ n-AlGa _N ／ Si ドープ n-Ga _N SLS	AlGa _N (1-10nm)／Ga _N (1-10nm)(10-500ペア)
Si ドープ n-Ga _N	500-10000nm
アンドープ Ga _N	500-3000nm
バッファ層	10-40nm
SiN/バッファ(無くても構わない)	
サファイアC面基板	

表2において、MQW発光層24としては、AlInGa_N(あるいはInGa_N)井戸層の膜厚は1nm以上5nm以下であり、AlInGa_N(あるいはAlGa_N)バリア層の膜厚は2nm以上50nm以下である。また、SLS層20におけるAlGa_Nの膜厚は1nm以上10nm以下であり、Ga_Nの膜厚も1nm以上10nm以下である。SLS層26におけるAlGa_Nの膜厚は0.5nm以上10nm以下であり、Ga_Nの膜厚は0.5nm以上5nm以下である。

他の層については、Ga_Nバッファ層14の膜厚は10nm以上40nm以下であり、アンドープGa_N層16の膜厚は500nm以上3000nm以下(好

ましくは500nm以上2000nm以下)であり、Siドープn-GaN層18の膜厚は500nm以上10000nm以下であり、アンドープGaN層22の膜厚は5nm以上100nm以下であり、p-GaN層28の膜厚は5nm以上50nm以下である。

表3には、各層のより好ましい膜厚を示す。

表3

層材料	より好ましい膜厚
p-GaN	10-40nm
Mgドープ p-AlGaIn / Mgドープ p-GaN SLS	AlGaIn(1-6nm) / GaN(0.5-3nm) (40-60ペア)
AlInGaIn / AlInGaIn MQW	AlInGaIn (well) (1-2nm) / AlInGaIn (Barrier) (6-20nm) (5-10ペア)
アンドープ GaN	20-40nm
Siドープ n-AlGaIn / Siドープ n-GaN SLS	AlGaIn(1.5-5nm) / GaN(1.5-5nm) (40-60ペア)
Siドープ n-GaN	1000-2000nm
アンドープ GaN	1500-3000nm
バッファ層	25-35nm
SiNバッファ(無くても構わない)	
サファイアC面基板	

表3において、MQW発光層24としては、AlInGaIn (あるいはInGaIn) 井戸層の膜厚は1nm以上2nm以下であり、AlInGaIn (あるいはAlGaIn) バリア層の膜厚は6nm以上20nm以下である。また、SLS層20におけるAlGaInの膜厚は1.5nm以上5nm以下であり、GaNの膜厚は1.5nm以上5nm以下である。SLS層26におけるAlGaInの膜厚は1nm以上6nm以下であり、GaNの膜厚は0.5nm以上3nm以下である。その他の層については、GaNバッファ層14の膜厚は25nm以上35nm以下、アンドープGaN層16の膜厚は1500nm以上3000nm以下(好ましくは1500nm以上2000nm以下)、Siドープn-GaN層18の膜厚は1000nm以上2000nm以下、アンドープGaN層22の膜厚は20nm以上40nm以下、p-GaN層28の膜厚は10nm以上40nm

以下である。

表 4 には、各層を MOCVD 装置で成長する際の成長温度を示す。

表 4

層材料	温度(°C)
p-GaN	950-1025
Mg ドープ p-AlGa _N /Mg ドープ p-GaN SLS	950-1025
InGa _N /AlInGa _N MQW	800-900
アンドープ GaN	800-900
Si ドープ n-AlGa _N /Si ドープ n-GaN SLS	1050-1100
Si ドープ n-GaN	1050-1100
アンドープ GaN	1050-1100
バッファ層	450-600
SiN バッファ	450-600
サファイア C 面	

表 4 において、GaN バッファ層 14 は 450°C 以上 600°C 以下で成長させ、アンドープ GaN 層 16 は 1050°C 以上 1100°C 以下で成長させ、Si ドープ n-GaN 層 18 は 1050°C 以上 1100°C 以下で成長させ、SLS 層 20 あるいは AlGa_N 単層 20 は 1050°C 以上 1100°C 以下で成長させ、アンドープ GaN 層 22 は 800°C 以上 900°C 以下で成長させ、MQW 発光層 24 は 800°C 以上 900°C 以下で成長させ、SLS 層 26 あるいは AlGa_N 単層 26 は 950°C 以上 1025°C 以下で成長させ、p-GaN 層 28 は 950°C 以上 1025°C 以下で成長させる。

以上のようにして作製された発光素子を積分球の中に入れ、p 電極 30 及び n 電極 32 に電源を接続し、電流を注入してチップから射出した全光出力を測定したところ、光出力は注入電流 20 mA のときにおよそ 2 mW が得られた。発光波長は、2 インチ直径のウエハ面内で多少のバラツキはあるものの、波長 372 nm ± 5 nm の範囲であることを確認している。外部量子効率、およそ 3% である。

本願出願人は、図 1 における層の材料や厚さを変化させたウエハを多数形成して同様の評価を行ったところ、発光波長帯により各層の制約条件が異なることを見出した。すなわち、発光ピーク波長が 380～400 nm の場合、各層の厚さが表 2 に示された好ましい膜厚の範囲内であれば光出力は 1 mW 以上が得られた。

一方、発光ピーク波長が 365～380 nm の場合は、各層の膜厚が表 2 に示された好ましい厚さの範囲からずれると光出力は 0.1 mW 以下に急激に減少し、各層の厚さが表 3 に示されたより好ましい厚さの範囲からずれると光出力は 1 mW 以下となった。これらより、表 2 あるいは表 3 に示された範囲に設定することで、短波長（波長 400 nm 以下）の発光効率を向上できることが確認された。

このように発光効率が改善される原因は、以下のように考えられる。図 2 には、本実施形態で作製された発光素子の断面電子顕微鏡写真を示す説明図が示されている。この断面電子顕微鏡写真説明図を詳細に観察すると、n-GaN/AlGaN SLS 層 20 とアンドープ GaN 層 22 の界面で転位が低減していることがわかる。SLS 層 20 中に包含される歪みと、この境界面で成長温度を変化させたことが相俟って下地層から伝搬してきた転位が横方向（ラテラル方向）に曲げられ、この真上に形成された MQW 発光層 24 中の転位が低減したと考えられる。すなわち、各層の組成及び厚さを上記の範囲に調整することで、MQW 発光層 24 中の転位を抑制できると考えられる。

さらに、発光効率改善がなされたもう一つの原因として、発光層 24 の組成揺らぎが考えられる。AlInGaN（あるいは InGaN）井戸層/AlInGaN（あるいは AlGaN）バリア層を積層した MQW 発光層 24 においては、In 組成が低く InGaN の組成揺らぎは起こり難い。組成揺らぎが生じると In 組成が部分的に大きい部位で発光するので注入されたキャリアはその部位で捕獲され、転位に到達できずに効率が低下しない。しかしながら、バリア層中には Al が添加されているので、In と Al の組成を同時に増やすことで、発光波長を短く保ちつつ In と Al の組成を増やし、結果として組成揺らぎが大きくなることが考えられる。図 3 には、断面電子顕微鏡写真を示す説明図が示されており、この説明図では発光層 24 の井戸層が不均一になっていることが確認される。す

なわち、MQW発光層24の材料及び組成比を上記の範囲に調整することで、組成揺らぎを増大させて転位による発光効率の低下を抑制できると考えられる。

このように、図1に示された層構造とし、各層の厚さを表2あるいは表3に示された範囲に設定することで高い発光効率を得られる。

なお、本願出願人は、SLS層20の代わりにAlGaInの単層とし、SLS層26の代わりにAlGaInの単層としても同様に波長400nm以下での発光効率が高いことを見い出している。具体的には、SLS層20の代わりに、Al組成を5～25%としたAlGaInを50nm以上500nm以下、より好適には70nm以上300nm以下形成し、SLS層26の代わりに、Al組成を5～25%としたAlGaInを50nm以上500nm以下、より好適には70nm以上200nm以下形成する。AlGaIn単層を用いた場合の全体の構成は以下になる。

サファイア基板10/SiN不連続膜12/GaNバッファ層14/アンドロップGaN層16/Siドープn-GaN層18/AlGaIn層20/アンドロップGaN層22/MQW発光層24/AlGaIn層26/p-GaN層28

この構造においても、MQW24の井戸層のバンドギャップやバリア層のバンドギャップよりも小さくなるようにAl組成比が選択される。また、MQW24のバリア層のAl組成比は、AlGaIn層20、26のAl組成比よりも大きくなるように選択されるのが好適である。具体的には、MQW24のバリア層のAl組成比は30%程度とすることができる。

また、本願出願人は、図1においてSiN膜12を形成せず、アンドロップGaN層16の代わりに、GaN層にSiNを挿入したGaN層/SiN層/GaN層の構造を有するGaN系層16とし、SLS層20としてアンドロップAlGaIn(1.7nm)/SiドープGaN(1.7nm)を交互に50ペア形成してSLS層20とし、アンドロップGaN層22の代わりにAlGaIn層(26nm)とし、MQW発光層24としてInGaIn井戸層(1.7nm)/AlGaInバリア層(13nm)を交互に3ペア形成してMQW発光層24とし、SLS層26としてAlGaIn(1.1nm)/GaN(0.5nm)を交互に50ペア形成してSLS層26とした発光素子も製造し、同様に波長400nm以下で

の発光効率が高いことを見い出している。GaN層にSiNを挿入することで、SiN層上に形成されるGaN層の転位が低減し、これによりMQW発光層24の転位が抑制される。

表5に、各層の材料と組成の範囲及びキャリア濃度の範囲を示す。

表5

層材料	組成の範囲	キャリア濃度の範囲(cm^{-3})
P-GaN(17nm)		1-50E17
AlGaIn(1.1nm)/GaN(0.5nm)(50ペア)	Al=5-25%	1-30E17
InGaIn(well)(1.7nm)/AlGaIn(barrier)(13nm)(3ペア)	InGaIn(well)(In~5.5%)、AlGaIn(Barrier)(Al~30%)	アンドープ
AlGaIn(26nm)	Al~20%	アンドープ
アンドープAlGaIn(1.7nm)/Siドープn-GaN(1.7nm)SLS、(50ペア)	Al~18%	1-8E18
Siドープn-GaN		1-8E18
アンドープGaN2(800-1200nm)		アンドープ
SiN高温バッファ		
アンドープGaN1(800-1200nm)		アンドープ
バッファ層(~25nm)		アンドープ
サファイアC面基板		

MQW発光層24におけるAlGaInバリア層のAl組成比は30%であり、SLS層20のAl組成比である約18%より大きく、かつ、SLS層26のAl組成比である5%~25%よりも大きい。AlGaInにおけるAl組成が大きくなると結晶品質が劣化するので、MQW発光層24のAlGaInバリア層のAl組成の上限は30%程度が好適である。

本実施形態における発光素子は、波長400nm以下で高い発光効率を有するため、この特性を専ら利用して種々の製品を作製することが可能である。以下では、図1に示された発光素子を光源として用いるいくつかの装置例を示す。

<第2実施形態>

市販のブラックペン（蛍光ペン）は可視照明下で文字や図形等を描いても見えないが、そこに紫外線を照射すると描いた文字や図形が現れる。カラーのブラックペン（紫外線を照射するとカラーの図形が現れる）も市販されているが、カラーを再現するためには照射する紫外線の波長が400nm以下、より正確には波

長380nm以下でなければならない。従来においては、蛍光灯ブラックライトや水銀ランプ等の光源が使用されているが、大型で消費電力も大きく、電源も大掛かりになる欠点がある。

そこで、図形再現用光源として図1に示された発光素子デバイス(LED)を用いると、小型で電池駆動も可能となる。ブラックペンで描いた図形を、ピーク波長400nm、385nm、372nmのLEDで照射して図形の再現を試みた。照射光強度はおよそ5mW(400nm)、3mW(385nm)、1mW(372nm)である。

400nmLEDの場合、図形が現れるものの色は再現されず、蛍光の強度もかろうじて見える程度の非常に低いレベルであった。385nmLEDで照射すると、図形の形ははっきり見える程度に強い蛍光強度は得られたが、色は再現されなかった。特に、赤色の再現性が悪かった。一方、波長372nmLEDの場合、照射強度が1mWと弱いにもかかわらず、蛍光は明るい室内でも全く問題なく見える程度に強く、かつ3原色を忠実に再現できた。

これらより、波長365～380nm帯のLEDは、安価に市販されているブラックペン(蛍光ペン)で描いた図形の再現用光源として非常に適していることが確認された。本実施形態のLEDを電池と共にキーホルダやブラックペン、消しゴムその他の製品に組み込んで簡単に再現できる、見えない文字や図形を描画するシステムが得られる。

<第3実施形態>

本実施形態におけるLEDからの光を人体の皮膚に短時間照射してその影響を調べた。ピーク波長400nm(5mW)、385nm(3mW)、372nm(1mW)のLED光をそれぞれ10分間皮膚に照射して皮膚の変化(いわゆる日焼け)を調べた。その結果、ピーク波長400nm(5mW)の場合はほとんど影響が見られなかったのに対し、385nm(3mW)の場合は少し変化が見られた。一方、372nm(1mW)の場合には、はっきりした跡が見られた。このことは、波長365～380nm帯のLEDが人体の日焼けを起こすことを示している。このLEDを光源として用いて日焼け装置を製作した。直径5mmのスポットだけを日焼けする装置及びLEDを長さ3cmの直線上に配置して線

条に日焼けする装置を作製し、実験を行った。いずれの装置も10分間照射することで日焼けが得られた。なお、30分以上照射すると皮膚の損傷が認められた。

従来、日焼け装置は紫外線のランプを使用しているため、照射面積が大きい用途には適当であったが、小さな領域だけの日焼けを作ることはできず、例えば日焼けしたい部位以外をタオルなどで覆うなどの工夫が必要であるところ、本実施形態の日焼け装置では、点や線などの日焼けを任意に作ることが可能である。

<第4実施形態>

市販されているUVカット化粧品（SPF50+PA+++）を塗った皮膚に対し、ピーク波長372nm（1mW）のLEDを光源に組み込んだ第3実施形態の日焼け装置で10分間照射した。その結果、UVカット化粧品を塗らない場合と比べて日焼けの程度が非常に小さいことを確認した。このように、本実施形態のLEDは、UVカット化粧品の性能を評価する装置として用いることもできる。

従来、この種の検査装置は大型であり、効果を調べるために広い皮膚表面が必要である。本実施形態の検査装置は、上述した実施形態で述べたように点あるいは線等の任意の形状あるいは部位に日焼けを作ることができるので、人体の部位毎の日焼けの程度を調べたり、あるいは携帯して長時間にわたる照射効果を調べることができる。

<第5実施形態>

時計の文字盤や避難誘導等の標識類には蓄光材料が使用されている。これは、蓄光剤に光が当たると、光を消しても蛍光が続くことを利用して暗闇でも字等が読める仕組みを利用したものである。近年、蓄光時間も長くなり3原色も出せるようになっている。例えば、硫化亜鉛に銅を結合させた短残光タイプやストロンチウムアルミネイトに希土類金属を結合させた長残光タイプなどが知られている。このような蓄光剤の感度は一般に波長400nm以下にある。したがって、蓄光剤と本実施形態のLEDとを組み合わせることで、短時間のみ光を照射して光を消すという操作を繰り返すことで消費電力の非常に小さい表示装置を作製することができる。また、電源が切れても表示は消えない（不揮発な）非常用表示装置も可能となる。

ピーク波長400nm(5mW)、385nm(3mW)、372nm(1mW)のLEDと3原色の蓄光剤を組み合わせて表示装置を作製した。蓄光剤を板状に加工し、その裏面から実施形態のLEDの光を照射して表面からの発光を観測した。10分間照射し、決められた時間だけ照射を切るサイクルを繰り返した。30分程度照射を切っても、事務室程度の明るさの部屋で蓄光剤からの発光が確認された。なお、暗闇中では1時間程度切っても蓄光剤からの発光が確認された。全ての波長で同様の効果が得られたが、ピーク波長400nm(5mW)を光源として使用した場合に最も残光が強かった。

このように、波長365～400nm帯のLEDと蓄光剤を使用した表示装置により、従来の表示装置と比べて消費電力を著しく低減することができる。

さらに、色の再現性についても観測した。ピーク波長400nm(5mW)、385nm(3mW)のLEDは、肉眼には青色～紫色に見えるため、蓄光剤で赤色を出すと両者が混じり合い純粋な赤の再現はできない。緑も同様である。一方、ピーク波長372nm(1mW)のLEDは肉眼ではほとんど見えないため、3原色を忠実に再現することができる。したがって、波長365～380nm帯のLEDを光源として用い、蓄光剤を使用した表示装置は低消費電力で、かつ、フルカラーを再現することができる。

<第6実施形態>

蛾等の昆虫の複眼は、波長360nmにピーク感度を有する。その性質を利用して、紫外線ランプを使った昆虫の駆除装置が市販されている。紫外線ランプを街頭に付け、その周辺に昆虫駆除装置を取り付けたものである。紫外線ランプは、可視光も射出するので一般的には明るく見える。また、消費電力が大きいという問題がある。この昆虫収集用の光源として実施形態のLEDを使用した。ピーク波長は372nmである。暗闇にLEDを設置し、昆虫の集まり状況を確認した。同時に、2Wの水銀ランプも比較のため別の場所に設置した。LEDの消費電力を節約するため及び発光ピーク強度を増すため、ピーク電流200mA、ピーク出力約10mW、パルス幅10mS、繰り返し周波数10Hz(平均出力1mW)のパルス駆動を行った。光出力は、LEDの方が小さいにもかかわらず多くの昆虫がLEDに集まることが観測された。水銀ランプは肉眼には青色～紫

色に見えたが、LEDはほとんど肉眼では確認できなかった。このことから、昆虫収集用の光源として、波長365～380nm帯のLEDが使えることがわかる。

そこで、市販の昆虫駆除装置のランプをLEDに取り替えて装置を作製した。波長372nmのLEDを200個使用して、上述した実験と同様にパルス駆動して動作させた。その結果、一晩で改造前と同程度の昆虫を駆除することができた。本実施形態のLEDを光源に用いた昆虫駆除装置は、消費電力が小さく、LEDが小型であるため光源のレイアウトに自由度が増すというメリットがある。さらに、肉眼ではほとんど見えないので、照明を嫌う環境にも用いることが可能である。

以上、本発明の実施形態について説明したが、これらは例示に過ぎず、本発明のLEDを用いて他の装置も作製可能である。例えば、紙幣の判定や紙幣の真偽を見分けるための装置や酸化チタンを照射することで得られる光触媒反応を利用した空気や水の洗浄にも使用することができる。

また、本実施形態において、GaN層16の代わりにAlGaN層を用いることができ、n型GaN層18の代わりにn型AlGaN層を用いることができる。さらに、GaN層22の代わりにInGaN層を用いることができ、p型GaN層28の代わりにp型InGaN層を用いることもできる。GaN系層には、GaN層の他、GaNのGaをAlやInで置換したAlGaN層やInGaN層も含まれる。

請 求 の 範 囲

1. 基板と、

前記基板上に形成された、n型AlGa_{0.3}N層とn型Ga_{0.7}N層を交互に積層してなる第1超格子層と、

前記第1超格子層上に形成された、Ga_{0.5}N系量子井戸層とGa_{0.5}N系量子バリア層を交互に積層してなる多重量子井戸層と、

前記多重量子井戸層上に形成された、p型AlGa_{0.3}N層とp型Ga_{0.7}N層を交互に積層してなる第2超格子層と、

を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

2. 請求項1記載の装置において、

前記基板と前記第1超格子層との間に、

バッファ層と、

前記バッファ層上に形成された第1Ga_{0.5}N系層と、

前記第1Ga_{0.5}N系層上に形成されたn型Ga_{0.5}N系層と

を有し、

前記第1超格子層と前記多重量子井戸層との間に、

第2Ga_{0.5}N系層

を有し、

前記第2超格子層上に、

p型Ga_{0.7}N層

を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

3. 請求項2記載の装置において、

前記第1Ga_{0.5}N系層はGa_{0.5}N層内にSi_{0.5}N層が挿入された構造をなし、

前記第2Ga_{0.5}N系層はAlGa_{0.3}N層を有する

ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

4. 請求項 1 記載の装置において、

前記多重量子井戸層における前記 GaN 系量子バリア層の Al 組成比は、前記第 1 超格子層及び前記第 2 超格子層の Al 組成比よりも大きいことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

5. 請求項 1 記載の装置において、

前記第 1 超格子層及び第 2 超格子層における Al Ga N 層の Al 組成比は 5 % 以上 25 % 以下であり、

前記多重量子井戸層における In Ga N あるいは Al In Ga N 量子井戸層の In 組成比は 3 % 以上 20 % 以下で、Al Ga N あるいは Al In Ga N 量子バリア層の Al 組成比は 1 % 以上 30 % 以下であり、前記量子井戸層は前記量子バリア層よりもバンドギャップが小さい

ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

6. 請求項 1 記載の装置において、

前記第 1 超格子層における Al Ga N 層及び Ga N 層の厚さはそれぞれ 1 nm 以上 10 nm 以下であり、

前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは 1 nm 以上 5 nm 以下で量子バリア層の厚さは 2 nm 以上 50 nm 以下であり、

前記第 2 超格子層における Al Ga N 層の厚さは 0.5 nm 以上 10 nm 以下で Ga N 層の厚さは 0.5 nm 以上 5 nm 以下である

ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

7. 請求項2記載の装置において、

前記第1 GaN系層の厚さは500 nm以上3000 nm以下であり、

前記n型GaN系層の厚さは500 nm以上10000 nm以下であり、

前記第1超格子層におけるAlGaIn層及びGaN層の厚さはそれぞれ1 nm以上10 nm以下であり、

前記第2 GaN系層の厚さは5 nm以上100 nm以下であり、

前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1 nm以上5 nm以下で量子バリア層の厚さは2 nm以上50 nm以下であり、

前記第2超格子層におけるAlGaIn層の厚さは0.5 nm以上10 nm以下でGaN層の厚さは0.5 nm以上5 nm以下であり、

前記p型GaN系層の厚さは5 nm以上50 nm以下である

ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

8. 請求項1記載の装置において、

前記第1超格子層におけるAlGaIn層及びGaN層の厚さはそれぞれ1.5 nm以上5 nm以下であり、

前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1 nm以上2 nm以下で量子バリア層の厚さは6 nm以上20 nm以下であり

前記第2超格子層におけるAlGaIn層の厚さは1 nm以上6 nm以下でGaN層の厚さは0.5 nm以上3 nm以下である

ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

9. 請求項 2 記載の装置において、

前記第 1 GaN 系層の厚さは 1500 nm 以上 3000 nm 以下であり、
前記 n 型 GaN 系層の厚さは 1000 nm 以上 2000 nm 以下であり、
前記第 1 超格子層における AlGaIn 層及び GaN 層の厚さはそれぞれ 1.5 nm 以上 5 nm 以下であり、
前記第 2 GaN 系層の厚さは 20 nm 以上 40 nm 以下であり、
前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは 1 nm 以上 2 nm 以下で量子バリア層の厚さは 6 nm 以上 20 nm 以下であり、
前記第 2 超格子層における AlGaIn 層の厚さは 1 nm 以上 6 nm 以下で GaN 層の厚さは 0.5 nm 以上 3 nm 以下であり、
前記 p 型 GaN 系層の厚さは 10 nm 以上 40 nm 以下である
ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

10. 基板と、

前記基板上に形成された n 型 AlGaIn 層と、
前記 n 型 AlGaIn 層上に形成された、GaN 系量子井戸層と GaN 系量子バリア層を交互に積層してなる多重量子井戸層と、
前記多重量子井戸層上に形成された p 型 AlGaIn 層と、
を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

1 1. 請求項 1 0 記載の装置において、
前記基板と前記 n 型 A l G a N 層との間に、
バッファ層と、
前記バッファ層上に形成された第 1 G a N 系層と、
前記第 1 G a N 系層上に形成された n 型 G a N 系層と、
を有し、
前記 n 型 A l G a N 層と前記多重量子井戸層との間に、
第 2 G a N 系層と、
を有し、
前記 p 型 A l G a N 層上に形成された p 型 G a N 系層と、
を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

1 2. 請求項 1 0 記載の装置において、
前記多重量子井戸層における前記 G a N 系量子バリア層の A l 組成比は、前記
n 型 A l G a N 層及び前記 p 型 A l G a N 層の A l 組成比よりも大きいことを特
徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

1 3. 請求項 1 0 記載の装置において、
前記 n 型 A l G a N 層及び p 型 A l G a N 層の A l 組成比は 5 % 以上 2 5 % 以
下であり、
前記多重量子井戸層における I n G a N あるいは A l I n G a N 量子井戸層の
I n 組成比は 3 % 以上 2 0 % 以下で、A l I n G a N あるいは A l G a N 量子バ
リア層の A l 組成比は 1 % 以上 3 0 % 以下であり、前記量子井戸層は前記量子バ
リア層よりもバンドギャップが小さい
ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

14. 請求項10記載の装置において、
前記n型AlGa_{0.3}N層の厚さは50nm以上500nm以下であり、
前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1nm以上5nm以下で量子
バリア層の厚さは2nm以上50nm以下であり、
前記p型AlGa_{0.3}N層の厚さは50nm以上500nm以下である
ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。
15. 請求項11記載の装置において、
前記第1Ga_{0.3}N系層の厚さは500nm以上3000nm以下であり、
前記n型Ga_{0.3}N系層の厚さは500nm以上10000nm以下であり、
前記n型AlGa_{0.3}N層の厚さは50nm以上500nm以下であり、
前記第2Ga_{0.3}N系層の厚さは5nm以上100nm以下であり、
前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1nm以上5nm以下で量子
バリア層の厚さは2nm以上50nm以下であり、
前記p型AlGa_{0.3}N層の厚さは50nm以上500nm以下であり、
前記p型Ga_{0.3}N系層の厚さは5nm以上50nm以下である
ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。
16. 請求項10記載の装置において、
前記n型AlGa_{0.3}N層の厚さは70nm以上300nm以下であり
前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1nm以上2nm以下で量子
バリア層の厚さは6nm以上20nm以下であり、
前記p型AlGa_{0.3}N層の厚さは70nm以上200nm以下である
ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

17. 請求項11記載の装置において、

前記第1 GaN系層の厚さは1500 nm以上3000 nm以下であり、
前記n型GaN系層の厚さは1000 nm以上2000 nm以下であり、
前記n型AlGaN層の厚さは70 nm以上300 nm以下であり、
前記第2 GaN系層の厚さは20 nm以上40 nm以下であり、
前記多重量子井戸層における量子井戸層の厚さは1 nm以上2 nm以下で量子
バリア層の厚さは6 nm以上20 nm以下であり、
前記p型AlGaN層の厚さは70 nm以上200 nm以下であり、
前記p型GaN系層の厚さは10 nm以上40 nm以下である
ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

18. 請求項2に記載の装置をMOCVD法で製造する方法であって、

前記基板上に前記バッファ層を450℃以上600℃以下の温度で形成し、
前記バッファ層上に前記第1 GaN系層、前記n型GaN系層、前記第1超格
子層を順次1050℃以上1100℃以下の温度で形成し、
前記第1超格子層上に前記第2 GaN系層、前記多重量子井戸層を順次800
℃以上900℃以下の温度で形成し、
前記多重量子井戸層上に前記第2超格子層、前記p型GaN系層を順次950
℃以上1025℃以下の温度で形成する
ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置の製造方法。

19. 請求項11記載の装置をMOCVD法で製造する方法であって、
前記基板上に前記バッファ層を450℃以上600℃以下の温度で形成し、
前記バッファ層上に前記第1Ga_{0.5}N系層、前記n型Ga_{0.5}N系層、前記n型Al_{0.5}GaN層を順次1050℃以上1100℃以下の温度で形成し、
前記n型Al_{0.5}GaN層上に前記第2Ga_{0.5}N系層、前記多重量子井戸層を順次800℃以上900℃以下の温度で形成し、
前記多重量子井戸層上に前記p型Al_{0.5}GaN層、前記p型Ga_{0.5}N系層を順次950℃以上1025℃以下の温度で形成する
ことを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置の製造方法。

20. 請求項2あるいは請求項11のいずれかに記載の装置において、
前記n型Ga_{0.5}N系層に接続されたn電極と、
前記p型Ga_{0.5}N系層に接続されたp電極と、
前記n電極とp電極との間に電圧を印加する電源と、
を有することを特徴とする窒化ガリウム系化合物半導体装置。

21. 請求項20記載の装置を光源に用い、波長400nm以下の光を照射する装置。

図 1

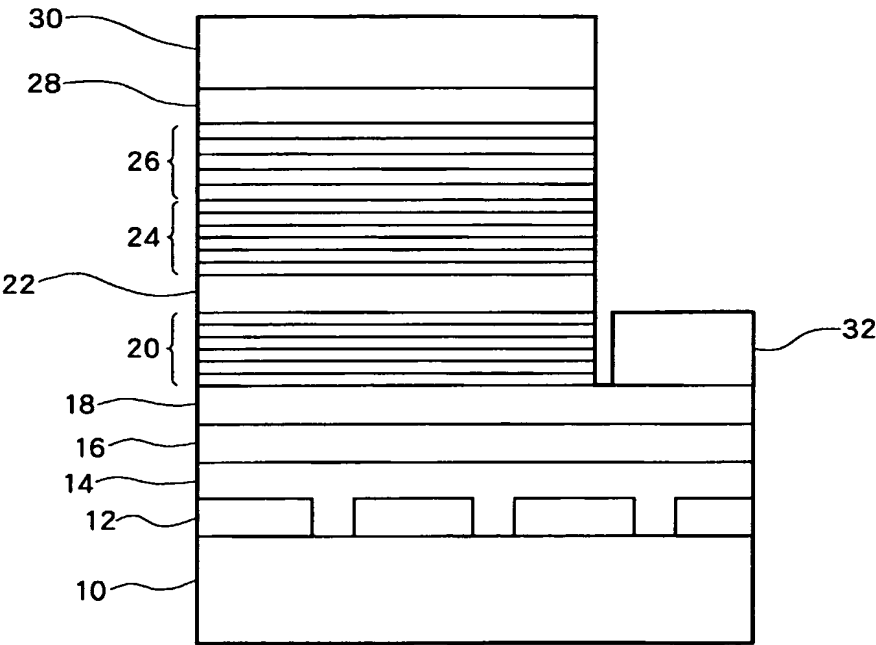
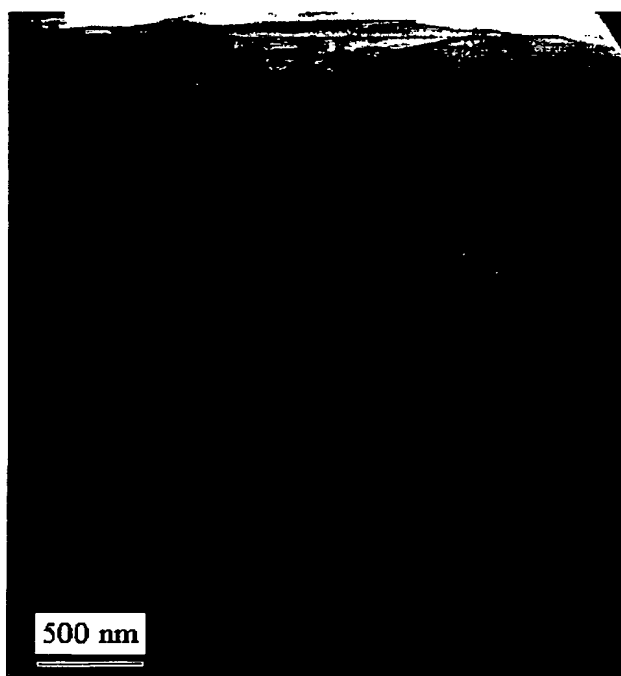
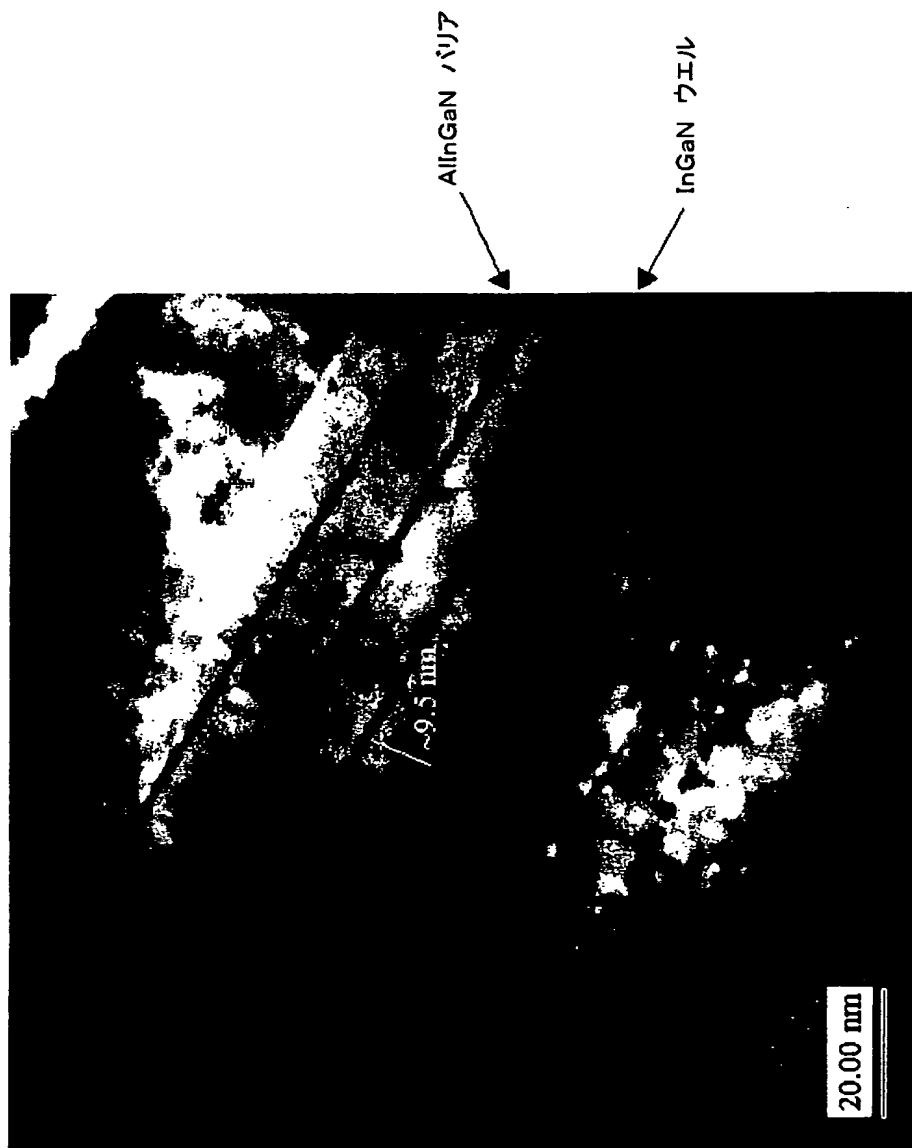


図2



} n-AlGaIn/GaN SLS

図3



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07061

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER Int.Cl. ⁷ H01L33/00		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) Int.Cl. ⁷ H01L33/00		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2003 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2003 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2003		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2000-299532 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 24 October, 2000 (24.10.00), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 10, 11, 20 3-9, 12-19, 21
X Y	JP 11-251684 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 17 September, 1999 (17.09.99), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 10, 11, 20 3-9, 12-19, 21
X Y	JP 2001-7447 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 12 January, 2001 (12.01.01), Full text; all drawings (Family: none)	1, 2, 10, 11, 20 3-9, 12-19, 21
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier document but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 09 September, 2003 (09.09.03)		Date of mailing of the international search report 24 September, 2003 (24.09.03)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP03/07061

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 10-126010 A (Ricoh Co., Ltd.), 15 May, 1998 (15.05.98), Full text; all drawings (Family: none)	1-21
Y A	JP 11-307866 A (NEC Corp.), 05 November, 1999 (05.11.99), Full text; all drawings (Family: none)	4, 12 1-3, 5-11, 13-21
A	JP 2002-141553 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 17 May, 2002 (17.05.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-21
A	JP 2001-102678 A (Toshiba Corp.), 13 April, 2001 (13.04.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-21
A	JP 2000-216432 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 04 August, 2000 (04.08.00), Full text; all drawings (Family: none)	1-21

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JPO3/07061

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ H01L 33/00

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl.⁷ H01L 33/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公案 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2003年
 日本国登録実用新案公報 1994-2003年
 日本国実用新案登録公報 1996-2003年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X Y	JP 2000-299532 A(日亜化学工業株式会社), 2000. 10. 24, 全文, 全図(ファミリーなし)	1, 2, 10, 11, 20 3-9, 12-19, 21
X Y	JP 11-251684 A(日亜化学工業株式会社), 1999. 09. 17, 全文, 全図(ファミリーなし)	1, 2, 10, 11, 20 3-9, 12-19, 21
X Y	JP 2001-7447 A(日亜化学工業株式会社), 2001. 01. 12, 全文, 全図(ファミリーなし)	1, 2, 10, 11, 20 3-9, 12-19, 21

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの

「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの

「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)

「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献

「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09. 09. 03

国際調査報告の発送日

24.09.03

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

吉野 三寛



2K 9010

電話番号 03-3581-1101 内線 3253

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
Y	JP 10-126010 A(株式会社リコー), 1998. 05. 15, 全文, 全図(ファミリーなし)	1-21
Y A	JP 11-307866 A(日本電気株式会社), 1999. 11. 05, 全文, 全図(ファミリーなし)	4, 12 1-3, 5-11, 13- 21
A	JP 2002-141553 A(日亜化学工業株式会社), 2002. 05. 17, 全文, 全図(ファミリーなし)	1-21
A	JP 2001-102678 A(株式会社東芝), 2001. 04. 13, 全文, 全図(ファミリーなし)	1-21
A	JP 2000-216432 A(日亜化学工業株式会社), 2000. 08. 04, 全文, 全図(ファミリーなし)	1-21